

^a Departement Gesundheitswissenschaften und Technologie, ETH Zürich, Schweiz

^b Departement Gesundheitswissenschaften und Technologie, ETH Zürich, Schweiz

Normalisierung der EMG-Aktivität des M. trapezius mithilfe submaximaler Referenzkontraktionen: Schwierigkeiten und Lösungsansätze

Corinne Nicoletti^a, Thomas Läubli^b

C. Nicoletti, T. Läubli: Normalisierung der EMG-Aktivität des M. trapezius mithilfe submaximaler Referenzkontraktionen: Schwierigkeiten und Lösungsansätze. *Zbl Arbeitsmed* 63 (2013) 250–253

Schlüsselwörter: Elektromyographie, Nacken, RVE

Zusammenfassung: Submaximale Referenzkontraktionen (RVE) sind bei elektromyographischen (EMG) Messungen des M. trapezius eine international empfohlene Normalisierungsmethode. Die vorliegende Publikation zeigt mögliche Schwierigkeiten dieser Methode und Lösungsansätze auf. Das EMG von 20 Pflegefachangestellten wurde erfasst und mittels submaximaler RVE normalisiert. Es ergab sich ein signifikanter Zusammenhang der Erholzeit und des 10. Perzentils des EMG zu RVE. Dies kann zu einer systematischen Verfälschung der Resultate führen. Mögliche Wege diese Verfälschung abzuschwächen sind das Einbeziehen von RVE in das statistische Modell, eine Verschiebung der gesamten Verteilung oder den Ausschluss von Messungen ausserhalb einer von uns vorgeschlagenen Bandbreite für RVE.

Normalization of trapezius muscle EMG with submaximal reference contractions: difficulties and solution approaches

C. Nicoletti, T. Läubli: Normalization of trapezius muscle EMG with submaximal reference contractions: difficulties and solution approaches. *Zbl Arbeitsmed* 63 (2013) 250–253

Key words: electromyography, neck, RVE

Abstract: Submaximal reference contractions (RVE) are the state of the art for the normalization of electromyographical (EMG) measures of trapezius muscle. The paper shows difficulties and solution approaches of this method. The EMG of trapezius muscle was measured in 20 nurses and was normalized with submaximal RVE. A significant correlation of rest time and RVE as well as a correlation of the 10th percentile of activity and RVE was found that can cause a systematic falsification of results. Possible solution approaches are the inclusion of RVE into the statistic model, adding a constant value to the data, or exclusion of measures beyond a proposed bandwidth of RVE.

1. Einleitung

Nackenbeschwerden sind in vielen Berufsfeldern ein häufiges Phänomen (Harcombe et al. 2009). Sie resultieren oftmals in einer erheblichen Reduktion der Lebensqualität (Punnett & Wegman 2004) und können die betroffenen Personen in vielen beruflichen, aber auch alltäglichen Tätigkeiten einschränken. Weiter sind diese Beschwerden auch in wirtschaftlicher Hinsicht ein Problem (Rissen et al. 2000) und betreffen besonders Frauen (Hammig et al. 2011). Eine

signifikante Rolle für die Entwicklung von Nackenbeschwerden spielt die Aktivität des M. trapezius (Aaras 1994).

Die Oberflächen-Elektromyographie (EMG) ist die einzige nicht-invasive Methode, die eine direkte Erfassung der Muskelaktivität erlaubt. Sollen verschiedene Tage oder Probanden verglichen werden, ist eine Normalisierung des EMG unerlässlich (Mathiassen et al. 1995). Es stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: Die maximale oder die

submaximale Normalisierung durch Referenzkontraktionen. Laut Hansson et al. (2000) und Nordander et al. (2003) haben die submaximalen Referenzkontraktionen Vorteile gegenüber den Maximalen. So soll die Variabilität zwischen den Probanden gesenkt werden können. Mathiassen et al. (1995) empfehlen während der submaximalen Referenzkontraktion die Arme in der Frontalebene, gestreckt in 90° Abduktion zu bringen. Die Hände sollten entspannt werden.

Die Autoren:

Corinne Nicoletti ■ MSc ETH Bew.-wiss. ■ Departement Gesundheitswissenschaften und Technologie ■ ETH Zürich ■ Sonneggstrasse 3 ■ 8092 Zürich ■ Schweiz ■ corinne.nicoletti@hest.ethz.ch

Thomas Läubli MD ■ Departement Gesundheitswissenschaften und Technologie ■ ETH Zürich ■ Sonneggstrasse 3 ■ 8092 Zürich ■ Schweiz.

Das Ziel dieser Publikation ist es, Schwierigkeiten, die bei submaximaler Normalisierung auftreten können anhand einer eigenen Studie aufzuzeigen und erste Lösungsansätze zu präsentieren.

2. Methodik

An der Studie nahmen 20 Pflegefachangestellte (weiblich, 34 ± 10 Jahre) aus vier Schweizer Spitälern teil. Sie hatten ein Arbeitspensum von mindestens 80% und wiesen keine Erkrankung des Bewegungsapparates auf. Die Studie wurde von der kantonalen Ethikkommission Zürich (KEK) bewilligt. Alle Probandinnen gaben ihr schriftliches Einverständnis.

Die Messungen fanden pro Probandin während 3 Schichten (2 Tages- und eine Nachtschicht) statt. Gemessen wurde das Oberflächen-EMG des M. trapezius descendens auf der dominanten Seite. Basierend auf den Empfehlungen von SENIAM (2012) wurden die Elektroden auf der Linie von Akromion zu C7 platziert. Der Mittelpunkt zwischen den beiden Elektroden befand sich 2 cm medial des Mittelpunktes dieser Linie. Die Distanz zwischen den beiden Elektroden betrug 2 cm. Die Referenzelektrode wurde auf C7 platziert. Vor Beginn der Arbeit wurden submaximale Referenzkontraktionen (RVE) ohne Zusatzgewicht durchgeführt. Dabei wurden die Arme dreimal für 20 s in der Frontalebene, gestreckt in 90° Abduktion gehalten, mit 40 s Pause zwischen den einzelnen Ausführungen. Diese Referenzkontraktionen folgten der Beschreibung von Mathiassen et al. (1995), mit leichten Modifikationen. Diese Modifikationen betreffen einerseits die Positionierung der Elektroden. Mathiassen et al. (1995) platzierten diese 2 cm lateral des Mittelpunktes der Linie von Akromion zu C7. Weiter führten sie die Referenzkontraktionen viermal während 15 s mit mindestens einer Minute Pause dazwischen durch. Auch der Forderung, die Referenzkontraktionen sitzend durchzuführen, konnte aufgrund der räumlichen

Gegebenheiten nicht immer nachgekommen werden.

Das EMG wurde mithilfe des PS11-UD (Thumedi, Thum-Jahnsbach, Deutschland), mit einer Abtastfrequenz von 2048 Hz, erfasst. Folgende Filter wurden eingesetzt: Hochpassfilter bei 12 Hz, Bandsperrfilter bei 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 300 Hz und 350 Hz, ein Tieffrequenzfilter (aktiv von 7 bis 13 Hz) und ein Tiefstfrequenzfilter (aktiv von 0.5 bis 1.7 Hz). Ausgegeben wurden Effektivwerte (RMS) während 250 ms. Es wurden Silber/Silberchlorid (Ag/AgCl) Elektroden (35 x 26 mm) verwendet (Kendall Arbo, Covidien, England). Die Haut wurde vor dem Kleben der Elektroden mit abrasiver Hautvorbereitungspaste (Nuprep, Weaver und Company, Aurora, CO, USA) behandelt.

Das RMS wurde mithilfe der bereits beschriebenen submaximalen Referenzkontraktionen normalisiert. Aus dem normalisierten EMG wurde die Erholzeit sowie das 10., 50. und 90. Perzentil der Aktivität berechnet. Die Erholzeit wurde definiert als der Prozentsatz der Schicht, in dem das EMG unter 5% RVE lag.

Die Korrelationen wurden mithilfe von IBM SPSS Statistics 20 berechnet. Das in Abschnitt 3.2 erwähnte gemischte Modell wurde in SAS 9.2 berechnet. Eine Probandin verliess die Studie nach der ersten Messung, zwei Tagesschichten mussten aufgrund der schlechten Qualität der Daten ausgeschlossen werden.

3. Ergebnisse

3.1 Schwierigkeiten

Die RVE-Werte ($95.7 \pm 48.8 \mu\text{V}$) schwankten zwischen $28.5 \mu\text{V}$ und $225.6 \mu\text{V}$. Ein schwacher Zusammen-

hang der Erholzeit ($R^2=0.15$; $n=56$; Abbildung 1) und des 10. Perzentils ($R^2=0.27$; $n=56$) zu RVE war ersichtlich. Das 50. Perzentil ($R^2=0.005$; $n=56$) und das 90. Perzentil ($R^2=0.009$; $n=56$) zeigten keinen Zusammenhang zu RVE.

Ein ähnliches Phänomen, das ebenfalls auf Schwierigkeiten bei der Normalisierung hindeutet, ergab sich beim Vergleich der EMG-Parameter zwischen Tag 1 und Tag 2. Die Werte der Erholzeit ($R^2<0.01$; $n=34$; Abbildung 2) und des 10. Perzentils ($R^2=0.12$; $n=34$) korrelierten nur schwach zwischen Tag 1 und Tag 2. Die Werte des 50. ($R^2=0.62$; $n=34$) und des 90. Perzentils ($R^2=0.31$; $n=34$) korrelierten stärker.

3.2 Lösungsansatz 1

Um den Einfluss von RVE zu berücksichtigen, wurde RVE bei der statistischen Analyse als Kovariate in das Modell miteinbezogen. Dies ergab das folgende gemischte Modell zum Vergleich der Tages- mit der Nachtschicht: Erholzeit = Schicht, Tag, RVE.

Dabei war mit „Schicht“ die gemessene Arbeitsschicht bezeichnet, also Tag 1, Tag 2 oder Nacht. „Tag“ bezeichnete lediglich, ob es sich bei der Messung um eine Tages- oder Nachtschicht handelte. Analog wurden die Modelle für die Perzentile aufgestellt.

3.3 Lösungsansatz 2

Eine gute Lösung zur Reduktion des Zusammenhangs der Erholzeit und des 10. Perzentils zu RVE schien die Verschiebung der gesamten Verteilung um den konstanten Faktor 20 darzustellen: $\text{EMG}_{\text{faktornormalisiert}}(x) = (100 \cdot \text{EMG}(x)) / (\text{RVE} + 20)$.

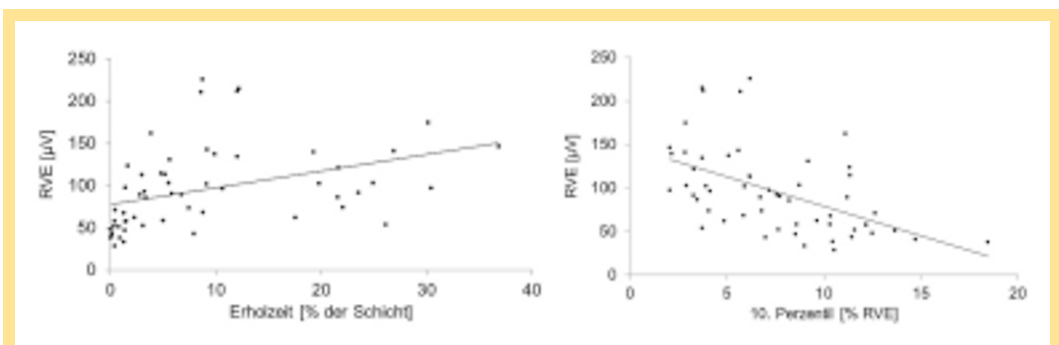


Abbildung 1: Zusammenhang der Erholzeit in % der Schicht und des 10. Perzentils (% RVE) des M. trapezius zum Wert der Referenzkontraktionen (RVE).

Durch Anwenden dieser Verschiebung konnte der Zusammenhang der Erholzeit ($R^2=0.07$) sowie des 10. Perzentils ($R^2=0.13$) zu RVE gesenkt werden. Der Zusammenhang zwischen dem 50. Perzentil ($R^2=0.09$) und RVE sowie jener zwischen dem 90. Perzentil ($R^2=0.17$) und RVE stieg jedoch an. Dass eine solche Verschiebung der gesamten Verteilung um den Faktor 20 zu keiner wesentlichen Verfälschung der Daten führt, konnte anhand der Abbildung 3 gezeigt werden. So korrelierte die normalisierte Erholzeit sehr stark mit der faktornormalisierten Erholzeit ($R^2=0.95$).

3.4 Lösungsansatz 3

Um den Zusammenhang der EMG-Parameter mit RVE im tiefen Bereich der EMG-Aktivität abzuschwächen und im hohen Bereich auf einem tiefen Niveau zu halten, wurden nur Messdaten von Probanden berücksichtigt, deren RVE-Werte innerhalb eines Bereichs von $55 \mu\text{V} \leq \text{RVE} \leq 140 \mu\text{V}$ lagen. Dadurch wurde der Zusammenhang der Erholzeit ($R^2=0.06$; $n=38$) sowie jener des 10. Perzentils ($R^2=0.16$; $n=38$) zu RVE abgeschwächt. Der Zusammenhang des 50. Perzentils ($R^2=0.02$; $n=38$) sowie jener des 90. Perzentils ($R^2=0.10$; $n=38$) zu RVE wurde nur leicht verstärkt. Diese Methode führte auch zu einer Verstärkung der Korrelation der Erholzeit ($R^2=0.18$; $n=14$) und des 10. Perzentils ($R^2=0.17$; $n=14$) zwischen Tag 1 und Tag 2. Beim 50. Perzentil ($R^2=0.66$; $n=14$) und beim 90. Perzentil ($R^2=0.31$; $n=14$) blieb die Korrelation zwischen Tag 1 und Tag 2 gleich gross.

4. Diskussion

Durch eine Normalisierung mit submaximalen Referenzkontraktionen kann das EMG des M. trapezius verfälscht werden, was zu einer systematischen Verfälschung der erhaltenen Resultate führen kann. Von einer solchen Verfälschung betroffen waren vor allem die tiefen Bereiche der EMG-Aktivität, das

heisst die Erholzeit und das 10. Perzentil. Da keine Literatur zu diesem Thema gefunden wurde, wurde nach eigenen Lösungsansätzen gesucht. Der erste Lösungsansatz half die Schwierigkeit abzuschwächen, die folgenden zwei sollten helfen die Schwierigkeit zu lösen. Abgeschwächt werden konnte die Schwierigkeit, indem RVE in die statistischen Auswertungen einbezogen wurde. Eine mögliche Lösung der Schwierigkeit bestand darin, die gesamte Verteilung von RVE um den Faktor 20 anzuheben, falls nur Parameter im tiefen Bereich der EMG-Aktivität, beispielsweise die Erholzeit oder das 10. Perzentil, berechnet werden. Werden Parameter über den gesamten Bereich der EMG-Aktivität benötigt, stellte die Beschränkung von RVE auf den Bereich zwischen $55 \mu\text{V}$ und $140 \mu\text{V}$ eine gute Lösung dar.

Zwischen RVE und der Erholzeit, sowie RVE und dem 10. Perzentil ergab sich ein Zusammenhang, welcher zu einer systematischen Verfälschung der Resultate führen kann. Bezüglich der Erholzeit schienen die sehr tiefen RVE die grosse Schwierigkeit zu sein. Als Beispiel hierfür wird von einem RVE von $20 \mu\text{V}$ ausgegangen. Ein solches RVE führt während der Normalisierung zu einer Anhebung der gesamten Verteilung um den Faktor 5. Das in der vorliegenden Studie verwendete Messgerät gab in vollständiger Ruhe den Minimalwert $1 \mu\text{V}$ aus. Diese entspricht nach der Normalisierung einem Minimalwert von $5 \mu\text{V}$, was nach Definition der Erholzeit ($< 5\%$ RVE) gar keine Erholzeit mehr zulässt. In solchen Fällen, in denen

lediglich die Erholzeit und tiefe Perzentilwerte gebraucht werden, kann eine Faktornormalisierung hilfreich sein.

Der Zusammenhang der Perzentilwerte im hohen Aktivitätsbereich zu RVE wurde durch die Faktornormalisierung jedoch verstärkt. Dies führte zu der Vermutung, dass nicht nur sehr tiefe, sondern auch sehr hohe RVE problematisch sein könnten. Dies wiederum führte zu der Entwicklung von Lösungsansatz 3, welcher bei der Erholzeit, sowie bei Perzentilwerten über den gesamten Aktivitätsbereich, akzeptable Werte lieferte. Durch die Beschränkung von RVE auf den Bereich von $55 \mu\text{V}$ bis $140 \mu\text{V}$, konnte eine allzu starke Veränderung der Messwerte verhindert werden, wobei trotzdem eine Normalisierung stattfand.

Für die grosse Streubreite von RVE und vor allem für die vielen tiefen Werte gibt es verschiedene Erklärungen. Als Erklärung für die vielen tiefen Werte, muss darauf hingewiesen werden, dass die Messungen der vorliegenden Studie ausschliesslich bei Frauen durchgeführt wurden. Das Unterhautgewebe ist bei Frauen oftmals dicker als bei Männern und somit die Distanz von dem Muskel zu den Elektroden grösser (Bilodeau et al. 2003). Diese grössere Distanz kann das Signal abschwächen (Nordander et al. 2003) und führt bei Frauen häufig zu einer tieferen Aktivität im Oberflächen-EMG als bei Männern. Die bereits in der Einleitung erwähnte Häufung von Nackenbeschwerden bei Frauen (Hammig et al. 2011) zeigt jedoch auf, dass solche Messungen gerade bei Frauen relevant sind und dass eine Lösung

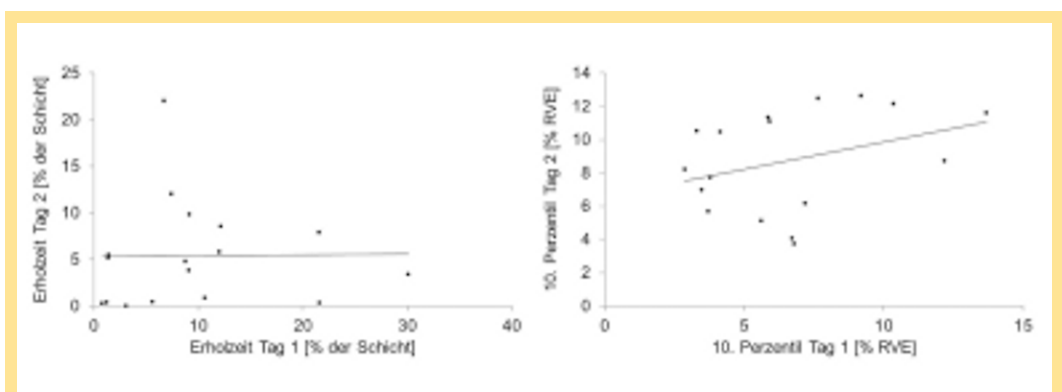


Abbildung 2: Zusammenhang der Erholzeit in % der Schicht und des 10. Perzentils in % der Referenzkontraktionen (RVE) des M. trapezius zwischen Tag 1 und Tag 2.

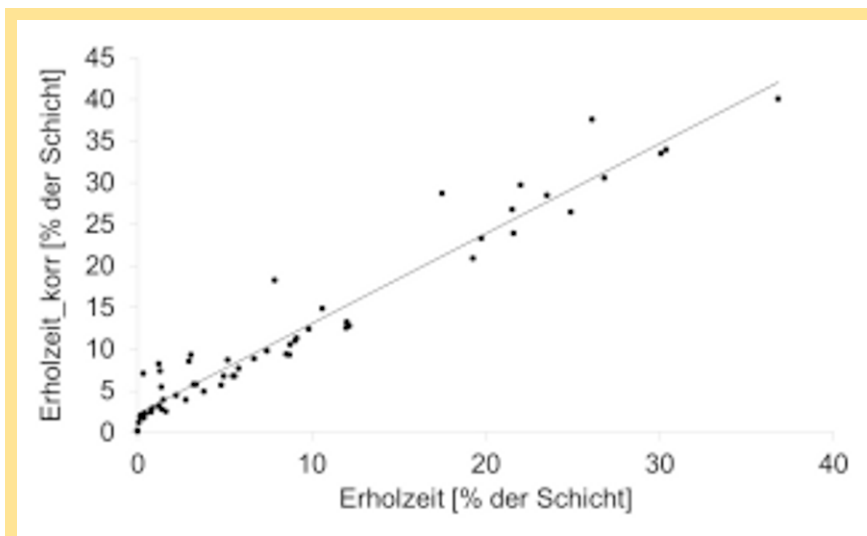


Abbildung 3: Zusammenhang der Erholzeit (in % der Schicht) der normalisierten Daten zu der Erholzeit (in % der Schicht) der faktornormalisierten Daten (Erholzeit_korr).

der Normalisierungsschwierigkeiten gefunden werden muss. Weiter ist es möglich, dass bei gewissen Messungen die Elektroden zu nahe an der motorischen Endplatte geklebt wurden, was das Signal abschwächen kann (Veiersted 1991). Eigene Erfahrungen unter Verwendung der jeweils aktuellen Empfehlungen von SENIAM oder leicht modifizierten Varianten davon zeigten, dass die Lokalisierung der motorischen Endplatte im M. trapezius nicht einfach ist und von Person zu Person zu variieren scheint. Die leichten Modifikationen bei der Ausführung der Referenzkontraktionen gegenüber den Empfehlungen von Mathiassen et al. (1995) sollten nicht zu den beobachteten Schwierigkeiten geführt haben.

Als allgemeine Erklärung für die grosse Streubreite von RVE, muss gesagt werden, dass einige Probandinnen Probleme bei der Ausführung der Referenzkontraktionen aufwiesen. So wurden die Arme von einigen Probandinnen zu weit kranial oder kaudal gehalten. Auch die Positionierung in der Transversalebene führte bei manchen Probandinnen zu Problemen. Laut Veiersted (1991) wird RVE bereits durch geringe Positionsänderungen der Arme beeinflusst. Die Probandinnen, die Probleme mit der Positionierung aufwiesen, wurden von der Versuchsleiterin korrigiert, bis eine möglichst korrekte Armposition erreicht war. Trotzdem waren leichte Va-

riationen in der Armposition wohl mit ein Grund, dass das RVE zwischen den Probandinnen so stark variierte.

Es wird empfohlen bei EMG-Messungen am M. trapezius descendens die Elektroden solange neu zu kleben, bis während submaximalen Referenzkontraktionen ohne Zusatzgewicht ein RVE zwischen 55 μ V und 140 μ V erreicht wird. Das Neukleben der Elektroden sollte um den anfänglich definierten Punkt der Lokalisation erfolgen, wobei der Abstand zwischen den beiden Elektroden gleich bleiben sollte. Durch zusätzliches Einbeziehen von RVE in das statistische Modell können die Schwierigkeiten weiter entschärft werden.

Weitere Forschung auf diesem Gebiet ist dringend nötig, da die Normalisierung über submaximale Referenzkontraktionen bei dem EMG des M. trapezius sehr häufig angewendet wird, eine Normalisierung von Daten jedoch niemals zu einer Verfälschung dieser führen sollte.

5. Literatur

- Aaras A (1994). Relationship between trapezius load and the incidence of musculoskeletal illness in the neck and shoulder. *International Journal of Industrial Ergonomics* 14 (4): 341–348
- Bilodeau M, Schindler-Ivens S, Williams DM, Chandran R, Sharma SS (2003). EMG frequency content changes with increasing force and during fatigue in the quadriceps femoris muscle of men and women. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 13 (1): 83–92

Hammig O, Knecht M, Laubli T, Bauer GF (2011). Work-life conflict and musculoskeletal disorders: A cross-sectional study of an unexplored association. *BMC Musculoskeletal Disorders* 12 (1): 60

Hansson GA, Nordander C, Asterland P, Ohlsson K, Stromberg U, Skerfving S, Rempel D (2000). Sensitivity of trapezius electromyography to differences between work tasks – influence of gap definition and normalisation methods. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 10 (2): 103–115

Harcombe H, McBride D, Derrett S, Gray A (2009). Prevalence and impact of musculoskeletal disorders in New Zealand nurses, postal workers and office workers. *Australian and New Zealand Journal of Public Health* 33 (5): 437–441

Mathiassen SE, Winkel J, Hagg GM (1995). Normalization of surface EMG amplitude from the upper trapezius muscle in ergonomic studies – a review. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 5 (4): 197–226

Nordander C, Willner J, Hansson GA, Larsson B, Unge J, Granquist L, Skerfving S (2003). Influence of the subcutaneous fat layer, as measured by ultrasound, skinfold calipers and BMI, on the EMG amplitude. *European Journal of Applied Physiology* 89 (6): 514–519

Punnett L, Wegman DH (2004). Work-related musculoskeletal disorders: The epidemiologic evidence and the debate. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 14 (1): 13–23

Rissen D, Melin B, Sandsjö L, Dohns I, Lundberg U (2000). Surface EMG and psychophysiological stress reactions in women during repetitive work. *European Journal of Applied Physiology* 83 (2–3): 215–222

SENIAM (2012). Surface electromyography for the non-invasive assessment of muscles. <http://www.seniam.org>

Veiersted KB (1991). The reproducibility of test contractions for calibration of electromyographic measurements. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 62 (2): 91–98